

Colloque international « Sécheresses, étiages et déficits en eau » Paris 11-13 décembre 2019

L'exploitation des aquifères karstiques des Monts de Tlemcen (Algérie) comme réserve stratégique en cas de sécheresse pluriannuelle grave

Bernard COLLIGNON¹, Fouzia BENSAOULA²

¹URBACONSULTING, 198, ch. d'Avignon, 84470, France – collignon@urbaconsulting.com

²Département d'Hydraulique, Université de Tlemcen (Algérie) - fbensaoula@gmail.com

Résumé - Les Monts de Tlemcen sont un véritable château d'eau dans l'Ouest de l'Algérie, une région peu arrosée et qui est frappée plusieurs fois par siècle par des épisodes de déficit pluviométrique prolongé (plus de 3 ans). Pour faire face à ces périodes de sécheresse, l'un des meilleurs atouts de la région est l'existence de grands aquifères karstiques. Leurs réserves renouvelables (la recharge) sont importantes mais déjà largement mobilisées. Par contre, les réserves permanentes (le stock) ne font pas l'objet d'une gestion stratégique, alors qu'elles permettraient de couvrir les besoins pendant les épisodes de sécheresse pluriannuelle.

Nous montrerons qu'une exploitation plus intensive des réserves permanentes permettrait de couvrir la demande pendant les sécheresses cinquantennales et même centennales, moyennant la construction de champs captants supplémentaires, qui ne seraient pas exploités en année « normale » (quand faire appel aux barrages représente l'optimum économique), mais seulement durant les périodes de fort déficit pluviométrique. C'est la stratégie qui a permis de gérer le grave épisode de sécheresse 1979-1999, pour un coût économique et environnemental bien plus faible que le dessalement d'eau de mer.

A plus long terme, la forte capacité d'emmagasinement de ces aquifères permettrait également de stocker de précieuses ressources qui sont actuellement perdues en mer (le trop-plein des barrages durant les années pluvieuses et les rejets de stations d'épuration en période hivernale).

Mots-clefs : Monts de Tlemcen - karst - réserves en eau stratégiques - gestion de la recharge des aquifères - Algérie

Karst aquifers, a strategic tool for mitigating the impact of 100-years droughts

Abstract - The Tlemcen Mountains are a real water tower in western Algeria, a region with limited water resources and which is hit several times a century by intense multi-year droughts (more than 3 following years). To cope with these periods of drought, one of the region's best assets is the existence of large karst aquifers. Their renewable reserves (the flux) are significant, but are already largely used. On the other hand, permanent reserves (the stock) are not subject to any strategic management, although they would cover water demand during multi-annual drought episodes.

We will show that more intensive exploitation of permanent reserves would make it possible to cover demand during 50-year and even 100-year droughts, through the construction of additional well fields, which would not be exploited in a "usual" year (when dams are the most cost effective water resource), but only during periods of severe rainfall deficit. This is the strategy that made it possible to cope with the serious 1979-1999 drought episode, at an economic and environmental cost much lower than seawater desalination.

In the longer term, the high storage capacity of these aquifers would also make it possible to store valuable resources that are presently lost at sea (the overflow of dams during rainy years and the outflow from wastewater treatment plants in winter).

Key words: Mounts of Tlemcen – karst – strategic water resources – managed aquifer recharge (MAR) - Algérie

Introduction : les réservoirs karstiques et leur exploitation

L'érosion des roches carbonatées (calcaires et dolomies) conduit à la formation des aquifères karstiques, qui ont des propriétés spécifiques : une très forte hétérogénéité, d'excellentes propriétés transmissives, mais un emmagasinement relativement limité (Stevanovich, 2015) (Collignon, 2018). Ces propriétés permettent de les exploiter d'une manière plus intensive que les aquifères constitués dans les milieux poreux, mais cela implique une gestion rigoureuse des réserves. Celles-ci peuvent être alors considérées comme des réserves stratégiques, dont l'exploitation permettra de réduire l'impact négatif de sécheresses prolongées.

Nous allons l'illustrer avec l'exemple des Monts de Tlemcen, où l'exploitation des aquifères karstiques a permis de limiter l'impact de la sécheresse exceptionnelle de la période 1979-1999.

Les différents degrés d'exploitation d'un aquifère karstique

Un aquifère karstique se comporte comme un réservoir dont les propriétés d'emmagasinement varient peu avec la profondeur (chaque mètre de rabattement libère un volume d'eau équivalent) (Collignon, 1986). Ce réservoir a l'avantage de stocker les eaux à l'abri de l'évaporation et de l'eutrophisation.

L'exploitation maîtrisée d'un tel réservoir implique d'y réaliser un nombre suffisant de forages à forte productivité, dont certains seront exploités pour pomper l'eau en période de déficit hydrique et d'autres pour y réinjecter de l'eau en période excédentaire.

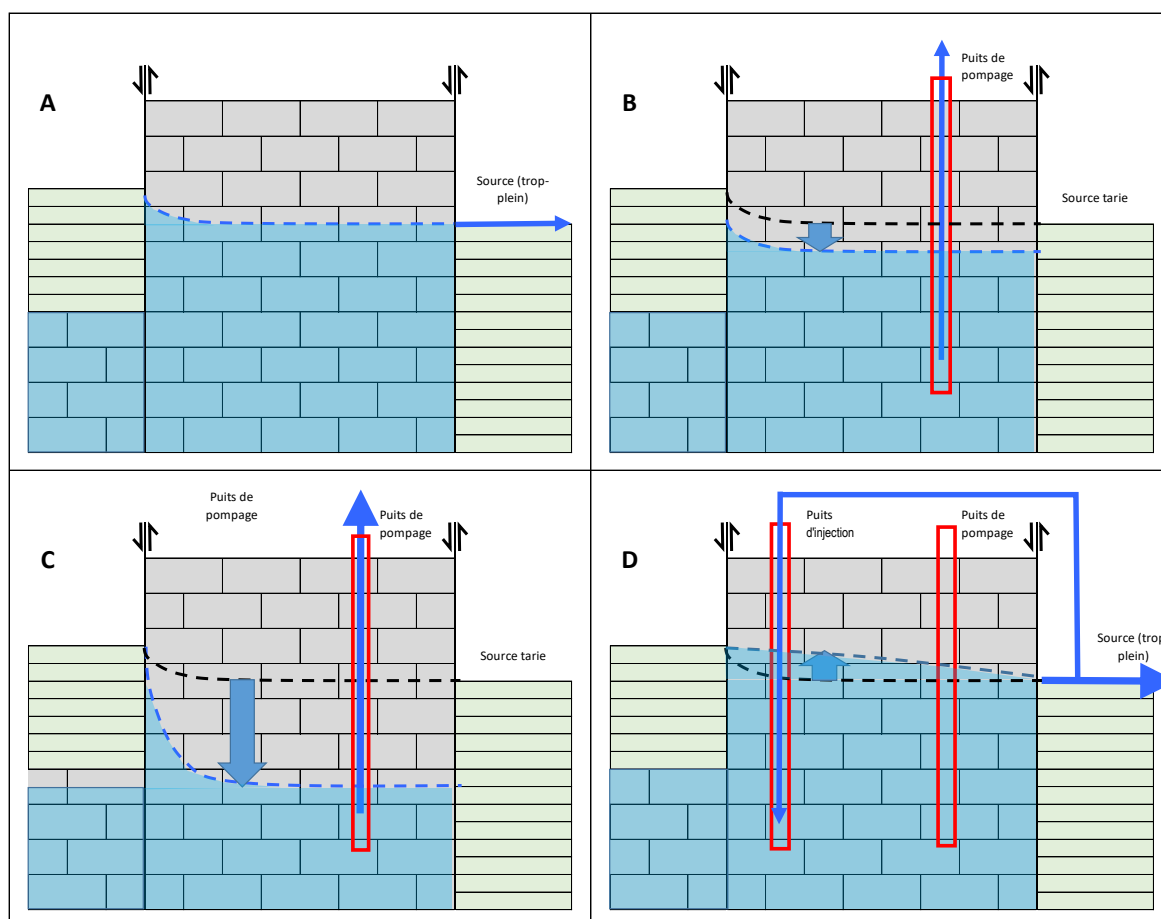


Figure 1. Intensification progressive de l'exploitation d'un aquifère karstique. A – exploitation gravitaire des sources de trop plein. B – rabattement estival du niveau piézométrique pour compenser la baisse de débit des sources. C – vidange partielle de l'aquifère, pour faire face à une sécheresse prolongée. D – recharge de l'aquifère pendant les années excédentaires.

Caractérisation de la sécheresse dans l'Ouest de l'Algérie

Le climat de l'Algérie du Nord est de type méditerranéen, avec des étés chauds et secs et des hivers humides et frais. La répartition des précipitations est influencée par trois facteurs: l'altitude, l'éloignement de la mer et la longitude. Les précipitations augmentent de l'Ouest vers l'Est de l'Algérie, de 400 mm/an à 1500 mm/an (Zeroual, et al., 2017). Dans la partie nord-ouest de l'Algérie, la plus aride, les Monts de Tlemcen font figure de château d'eau régional, avec des précipitations annuelles comprises entre 450 et 650 mm/an (Figure 2).

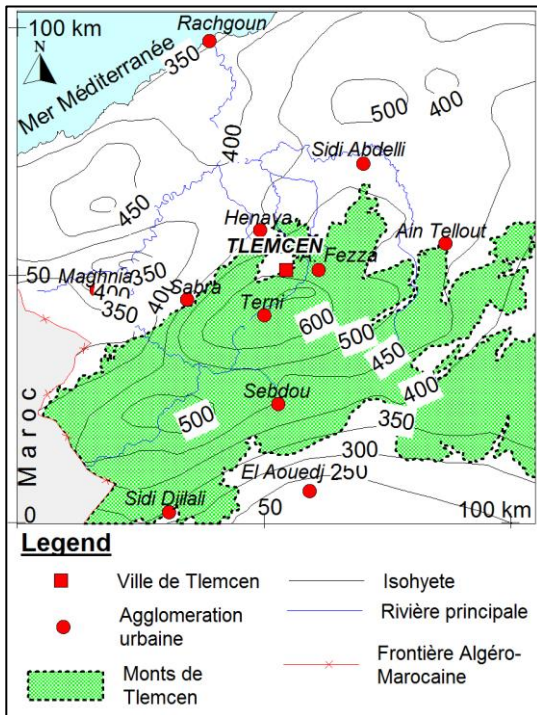


Figure 2. Précipitations moyennes annuelles dans l'Ouest algérien – Période 1913-1988- Source: (Laborde, 1993), modifié

La variabilité interannuelle des précipitations est très forte. Des barrages ont été construits pour stocker l'eau et couvrir les besoins en eau pendant les années déficitaires, mais la sécheresse dans l'Ouest de l'Algérie est caractérisée par la récurrence de séries de plus de 4 années déficitaires successives (1915/1919 – 1939/1949- 1981/1987 – 1992-2000 - Figure 4).

Les précipitations constituent le déterminant le plus important du ruissellement et elles ont donc fait l'objet de nombreuses études en Algérie, dont le principal objectif était la caractérisation d'un changement climatique susceptible de compromettre l'approvisionnement en eau de la région.

Selon (Hubert & Meddi, 2003), l'évolution sur 68 ans des débits des cours d'eau de l'ouest algérien montre une rupture de la stationnarité à partir des années 70, avec pour conséquence une forte diminution des apports hydriques aux barrages.

Cette analyse est confirmée par de nombreuses études, (Ghenim, 2013), (Meddi & Meddi, 2007), qui mettent en évidence une baisse de la pluviométrie sur la quasi-totalité des 10 stations étudiées, baisse qui atteint 36% dans l'extrême ouest du pays (Meddi & Meddi, 2009) (Figure 4).

A la suite de cette baisse pluviométrique, les barrages ne se remplissaient plus suffisamment pour couvrir les besoins en eau (Assaba, et 2013) qui ne cessaient de croître (multiplication par quatre en 40 ans). Le gouvernement a alors lancé des investissements massifs dans d'autres types de ressources en eau : les forages les années 80 et 90, et enfin le dessalement d'eau de mer dans les années 2000 (Figure 4).

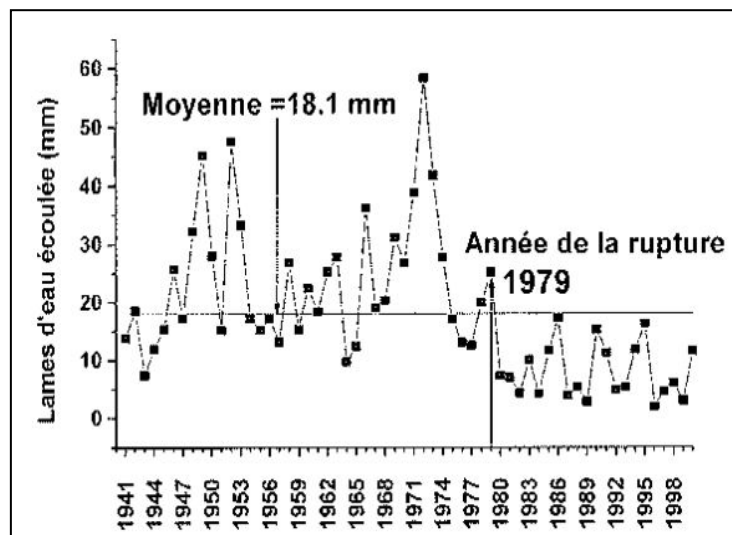


Figure 3. Evolution des apports liquides barrage Beni- Bahdel, Tafna ((Hubert & Meddi, 2003)

al.,
Le
dans
au

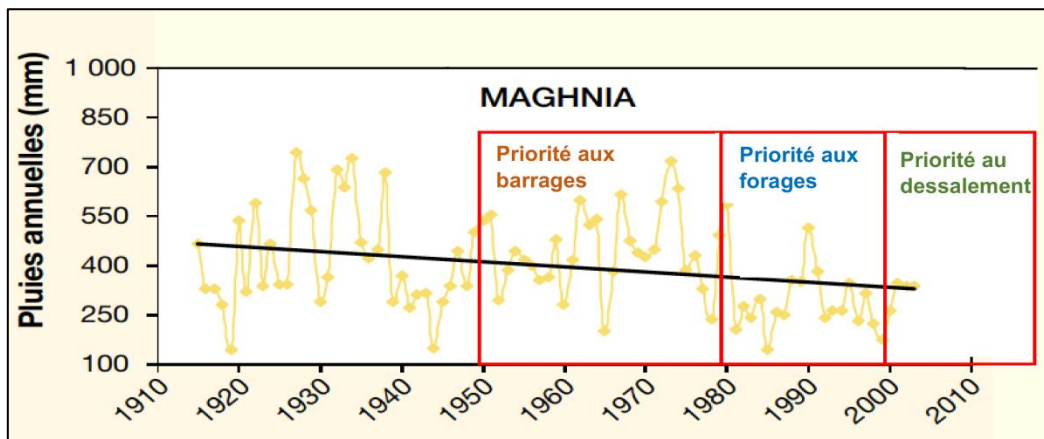


Figure 4. Stratégies successives pour s'adapter à la baisse tendancielle de la pluviométrie (Meddi & Meddi, 2007) modifié

La mise en valeur progressive des aquifères karstiques des Monts de Tlemcen

L'épopée des grands barrages

Durant les années 50 et 60, deux grands barrages ont été construits dans les Monts de Tlemcen, sur les sites de Beni Bahdel et de Meffrouch. Ces deux ouvrages ont été implantés sur des sites favorables d'un point de vue topographique, mais dont le substratum était karstifié, ce qui a entraîné des fuites importantes (Gevin, 1952). L'injection de volumes considérables de béton a permis de maîtriser le débit de fuite, mais la leçon a été retenue : les grands barrages réalisés ultérieurement ont été implantés sur des sites situés en aval des Monts de Tlemcen (Boughara, Sidi Abdelly et Sikkak), sur un substratum de marnes miocènes.

La mise en exploitation des aquifères karstiques

La structure géologique des Monts de Tlemcen a des conséquences sur les ressources en eau souterraines : c'est un horst qui a soulevé les calcaires jurassiques 300 à 600 m au-dessus des plaines argileuses environnantes. Ils sont donc particulièrement favorable à l'infiltration des précipitations et ils recèlent des aquifères très productifs (Collignon, 1986) (Bensaoula, 2007). Il en résulte des aquifères karstiques qui sont très développés, où les forages sont exceptionnellement productifs, mais qui sont aussi morcelés par le jeu des failles et de l'érosion : on y compte une trentaine de compartiments isolés.

La très forte productivité de ces aquifères karstique encourage l'aménagement de champs captant à gros débit. C'est la stratégie mise en œuvre à partir de 1982 par l'INRH (Institut national des ressources hydrauliques) et la DHW (Direction de l'hydraulique de la wilaya de Tlemcen). Quand la diminution des précipitations et du ruissellement a compromis l'approvisionnement en eau à partir des barrages, une série de programmes ambitieux de forage (60 000 mètres en 40 ans - Figure 5) ont permis de mobiliser 50 Mm³/an supplémentaires (Bensaoula, et al., 2019 (sous presse)).

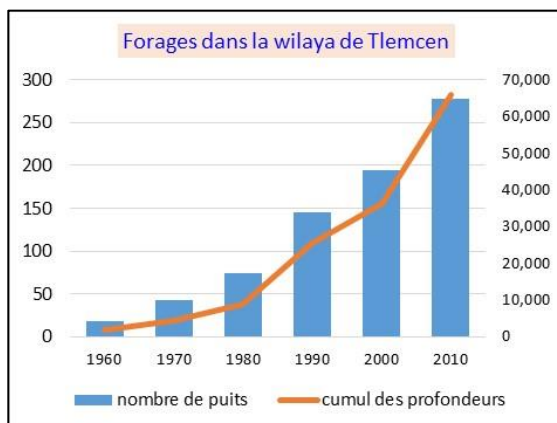


Figure 5. Multiplication des forages dans le karst, à partir des années 80

L'équipement des aquifères bien karstifiés des Monts de Tlemcen présente de nombreux avantages (Collignon, 1986) :

- la disponibilité d'une eau de bonne qualité à proximité des localités qui doivent être alimentées en eau ;
- la forte productivité des forages ;
- la possibilité d'exploiter de larges portions de chaque compartiment aquifère avec un nombre limité de forages ;
- des coûts de production relativement limités (le traitement des eaux se limite à une chloration – cf Tableau 2)
- la rapidité de mise en œuvre d'un programme de forage par rapport à un chantier de barrage.

Il ne faut cependant pas négliger les contraintes de ce type d'investissement : la grande profondeur des niveaux statiques (avec pour conséquence de fortes hauteurs de refoulement) et les aléas du forage en roche karstifiée. Le débit des forages est totalement imprévisible (Collignon, 2018) et les incidents de foration sont fréquents, en particulier les pertes totales de boue et les coincements d'outils (Collignon, 1985).

Les forages à la rescousse de l'alimentation en eau potable d'Oran

Jusqu'en 1980, les ressources en eau régionales ont principalement été exploitées au moyen de grands barrages, des ouvrages de stockage construits en aval des sources qui drainent les aquifères karstiques. La sécheresse prolongée des années 81 à 88 a montré les limites de cette stratégie : la capacité régulatrice des barrages ne suffisait pas à compenser l'impact d'une dizaine d'années de déficit pluviométrique. Pour sécuriser dans l'urgence l'alimentation en eau des villes de l'Ouest algérien (et en particulier Oran et Tlemcen), une vingtaine de forages profonds ont été implantés dans le karst, tout le long de la canalisation principale du barrage de Beni Bahdel afin de capter 12 Mm³/an d'eau souterraine supplémentaires, réinjectés dans la conduite forcée du barrage. Il s'agit d'une opération techniquement délicate pour un ouvrage de transfert aussi complexe.

La surexploitation des aquifères

Les aquifères karstiques alimentés à partir des Monts de Tlemcen ont été très fortement sollicités à partir de 1985, au travers de plusieurs grands programmes de forage :

- plus de 100 forages implantés directement dans les Monts de Tlemcen ou sur leurs piémonts septentrionaux et notamment le long de la conduite du barrage de Beni Bahdel (voir ci-dessus), avec une capacité de production cumulée de 30 Mm³/an ;
- le champ captant de Zouia, sur les piémonts occidentaux des Monts de Tlemcen et la frontière marocaine ; celui-ci comporte 22 forages profonds de 300 à 1240 mètres, totalisant plus de 15 000 m forés entre 2002 et 2007, avec d'excellents débits exploitables (70 à 200 m³/h) ; le volume produit est monté jusque 35000 m³/j (10 Mm³/an) (DRE, 2018) ;
- le champ captant de Chott El Gharbi, sur les hauts plateaux, au sud des Monts de Tlemcen, qui comporte 60 forages d'une profondeur de 400 à 650 m (ADE, 2019). Le système de transfert se compose d'un réseau d'adductions qui s'étend sur plus de 650 km, pour l'alimentation des wilayas de Tlemcen, Naama et Sidi Bel Abbès ; l'investissement vise la mobilisation de 110 000m³/jour (40 Mm³/an).

La capacité de production cumulée de tous ces forages atteint donc 80 Mm³/an, soit près de la moitié des réserves renouvelables estimées à 200 Mm³/an (Collignon, 1986) (Bensaoula, et al., 2019 (sous presse)). La conséquence ne s'est pas fait attendre : dès les années 90, les premiers indices de surexploitation sont apparus sur certains champs captants. Parmi les 81 forages exploités par l'ADE dans la wilaya de Tlemcen (mis à part ceux du champ captant de Zouia et Chott El Gharbi), 6 sont maintenant abandonnés et 29 autres ont été mis en veille suite à la dégradation de la qualité de l'eau, la détérioration de l'équipement et surtout le fort rabattement de la nappe (ADE, 2019).

Le dessalement d'eau de mer et la mise au repos des forages

Suite à une longue série d'années à fort déficit pluviométrique (1979-1999), les autorités algériennes ont décidé de développer les capacités de production d'eau par dessalement de l'eau de mer afin de sécuriser l'approvisionnement en eau potable des villes côtières. Ce choix traduit une orientation stratégique à long terme (Bedrani, 2011).

Dans le cadre de cette politique, la wilaya de Tlemcen a bénéficié de deux stations de dessalement parmi les 11 réalisées jusqu'à ce jour sur le territoire algérien : la station de Souk Tlata et la station de Honaine mises en service entre février 2011 et juillet 2012 avec une capacité théorique de 200 000 m³/j chacune (70 Mm³/an).

La mise en service de l'usine de dessalement d'eau de mer de Souk Tlata en 2011 a fourni à l'ADE une ressource supplémentaire considérable. Il lui a ainsi été possible de réduire les prélèvements dans les forages sur le versant septentrional des Monts de Tlemcen et de laisser remonter le niveau des nappes.

Tableau 1. Stratégies d'exploitation successives des aquifères karstiques des Monts de Tlemcen

	modèle d'exploitation	application aux Monts de Tlemcen
avant 1950	exploitation des sources de trop-plein du karst	systèmes d'irrigation gravitaire le long de l'oued Chouly
1950 – 1970	retenues d'eau en aval des sources	Barrages de Beni Bahdel, Meffrouch, Sidi Abdelly et Sikkak (385 Mm ³ de stockage)
1970 – 1980	forage et exploitation des ressources en eau souterraines à un rythme inférieur aux réserves renouvelables	50 forages (pour une capacité cumulée de 10 Mm ³ /an)
1980 – 2000	forages profonds et exploitation des aquifères au-delà des réserves renouvelables	200 forages (pour une capacité cumulée de 70 Mm ³ /an)
après 2000	gestion des aquifères karstiques comme réserves stratégiques	construction de 2 usines de dessalement (140 Mm ³ /an) et mise en sommeil de 20 forages très productifs
perspectives à l'horizon 2030	recharge artificielle des aquifères karstiques avec des eaux de surface ou des eaux usées retraitées	stockage souterrain du trop-plein des barrages et de la part du débit des stations de traitement d'eau usées qui est mal valorisé en dehors des périodes d'irrigation

L'interconnexion des différentes ressources

L'Algérienne des Eaux (ADE), concessionnaire du service des eaux pour toute la wilaya de Tlemcen, couvre les besoins en eau potable et en eau industrielle de tous ses clients à partir de trois types de ressources principales : le dessalement d'eau de mer, les grands barrages et les forages dans les aquifères karstiques.

La part de ses besoins qu'elle couvre à partir de ces différentes ressources varie d'un mois à l'autre, en fonction du taux de remplissage des barrages et du rendement des usines de dessalement. La

Figure 6 illustre ces très fortes variations inter-mensuelles. De 2012 à 2016, le dessalement d'eau de mer a couvert la majorité des besoins durant une période où le remplissage des barrages était insuffisant. Par la suite, une hydrologie plus favorable a permis à l'ADE de mobiliser davantage les barrages (une ressource moins coûteuse), en particulier pour couvrir le pic de demande estival, de juin à octobre. Les ressources en eau souterraines ont été mobilisées à la marge, notamment en 2016, pour compenser des difficultés d'exploitation à l'usine de dessalement de Souk Tlata.

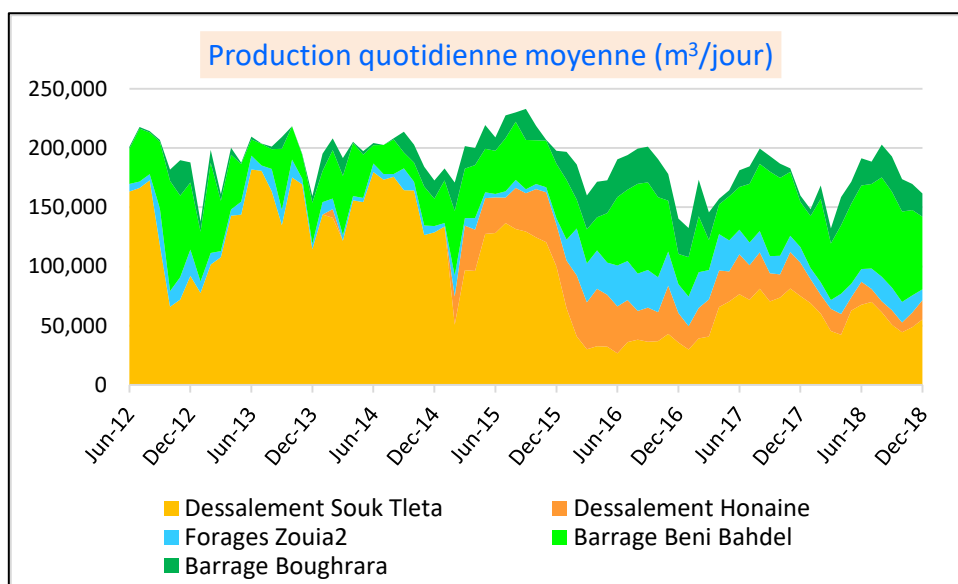


Figure 6. Evolution de la production de la compagnie des eaux à partir des différentes ressources en eau de la wilaya de Tlemcen (données ADE Maghnia)

L’ADE pratique donc une gestion intégrée de plusieurs ressources en eau (GIRE). Cela lui est possible parce qu’elle a construit un long réseau de conduites principales (près de 1000 km de canalisation de diamètre 90 à 1500 mm) qui interconnectent l’ensemble des ressources à l’ensemble des grands points de distribution (Figure 7).

Il faut noter que la production de la station de dessalement de Souk Tlata n’est pas du tout stable. Elle est pénalisée en hiver par la forte turbidité de l’eau brute et elle a considérablement diminué depuis janvier 2016 (elle tourne depuis à 30% de sa capacité nominale). En 2016, à la suite d’une panne de l’usine de dessalement, les prélèvements dans les aquifères ont repris à un rythme soutenu, en particulier sur le champ de Zouia (piémonts occidentaux), entraînant à leur tour un fort rabattement de la nappe.

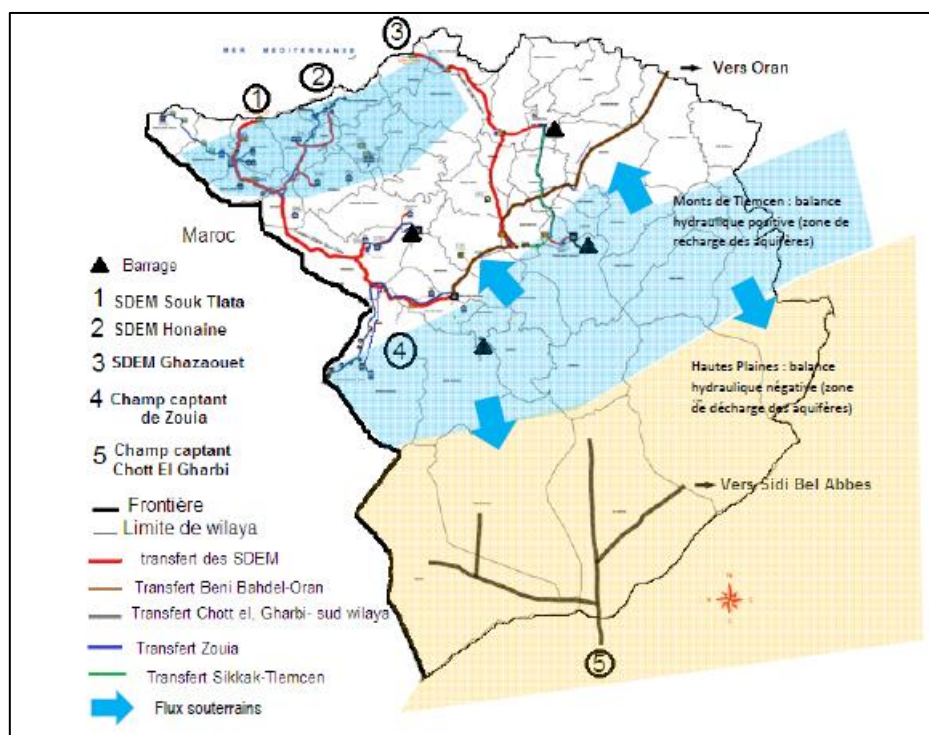


Figure 7. Interconnexion des principales sources d’approvisionnement en eau de la wilaya de Tlemcen

Les atouts des aquifères karstiques comme ressource stratégique

Les aquifères karstiques des Monts de Tlemcen constituent indéniablement un atout important pour l’approvisionnement en eau de la région grâce à trois atouts : (a) leurs réserves renouvelables (la recharge annuelle), (b) leurs réserves permanentes (l’eau stockée dans le sous-sol) et (c) la forte productivité des forages.

(a) **Les réserves renouvelables** ont été évaluées à 200 Mm³/an (Collignon, 1986), ce qui permet de couvrir l’essentiel de la demande en eau actuelle. Ce n’est pas négligeable, mais il faut garder à l’esprit que cette ressource est déjà très largement mobilisée au travers des forages existants et des barrages, car deux tiers des massifs karstiques sont drainés par les rivières régulées par les grands barrages. Les ressources supplémentaires qu’il serait possible de mobiliser sont donc limitées, quelques dizaines de Mm³/an tout au plus.

(b) **Les réserves permanentes exploitables** (l’eau stockée dans les 100 premiers mètres d’aquifère) ont été évaluées à 6 300 Mm³ (Bensaoula, et al., 2019 (sous presse)). Cela constitue un stock très considérable (plus de 15 fois le volume stockable dans les barrages). Cette réserve est bien adaptée pour faire face aux sécheresses de plus de 2 années de déficit pluviométrique (dont la première conséquence est de vider les lacs de barrages).

(c) **La forte productivité des forages** dans les calcaires du Jurassique est l’atout maître de ces aquifères, car cela permet d’équiper les aquifères avec un nombre limité de forages, de l’ordre de 10 forages par centaines de km². Le coût résultant, à hauteur de 0.15 \$/m³, pour l’investissement et l’exploitation, sera inférieur à celui des barrages et des usines de dessalement. Les forages dans ces formations carbonatées consolidées peuvent être équipés en trou nu, ans crépines ni gravier, et vieillissent ainsi très bien car on n’a pas à craindre le colmatage des crépines (Collignon, 1985).

	Dessalement d’eau de mer (osmose inverse)	Eaux souterraines (forages)	Eaux de surface (barrages)
Capacité de production théorique (Mm ³ /an)	146 Mm ³ /an	80 Mm ³ /an	209 Mm ³ /an
Invest. (\$) pour 1000 m ³ /an)	3 900	1 650	Variable selon le site
Coûts de production (\$/m ³)	0.7 \$/m ³	0.15 \$/m ³	0.2 \$/m ³
Empreinte énergétique (kWh/m ³)	7 to 10 kWh/m ³	0.7 to 1 kWh/m ³	0.2 to 0.3 kWh/m ³
Impact environnemental	Empreinte carbone Rejet de saumures	Tarissement des sources	Modification du régime hydrologique

Tableau 2. Coûts financiers et environnementaux des différentes ressources en eau (Bensaoula, et al., 2019 (sous presse))

Perspectives d’utilisation des aquifères karstiques pour compenser l’impact des sécheresses pluriannuelles

Constituer une capacité de production de réserve pour les périodes de sécheresse

Le principal atout encore sous-exploité des aquifères karstiques des Monts de Tlemcen, ce ne sont pas leurs réserves renouvelables, mais leurs réserves permanentes. Il n’est pas recommandé d’en faire une exploitation minière (c’est-à-dire en prélevant durablement un débit supérieur aux réserves renouvelables, comme cela se fait pour les grands aquifères du Sahara). Il s’agit seulement d’équiper les aquifères d’une capacité de production supplémentaire (forages équipés et adductions), afin de pouvoir faire face aux sécheresses pluriannuelles (Stevanovic, 2015), quand les barrages et les usines de dessalement ne permettent plus d’assurer.

Pour fixer les ordres de grandeur, constituer une capacité de production supplémentaire de 200 000 m³/jour (72 Mm³/an) implique la réalisation de 200 forages de 250 m de profondeur moyenne, dont la moitié (les plus productifs) seraient équipés de pompes immergées et raccordés aux grands réseaux de distribution de l'ADE.

Une telle infrastructure permettrait de faire face aux épisodes de sécheresse cinquantennale et même centennale (comme cela a été fait durant la période 1983-1990 – voir Figure 1C).

Constituer une capacité de stockage supplémentaire

A l'heure actuelle, deux types de ressources en eau sont difficilement valorisables dans la région : (a) le début du trop-plein des barrages, durant les années à forte pluviométrie et (b) le débit de sortie des stations d'épuration (STEP), durant l'hiver, hors période d'irrigation.

L'immense capacité d'emmagasinement des aquifères karstiques des Monts de Tlemcen permettrait d'y stocker une partie de ces ressources qui sont actuellement perdues en mer. Il s'agirait de mettre en place un dispositif de recharge artificielle des aquifères, sous la forme de puits d'injection à gros débit (Figure 1D). Les forages d'injection seraient réalisés sur le même modèle que les forages d'exploitation : forage en 450 mm et tubage en gros diamètre des horizons supérieurs, équipement en trou nu des formations carbonatées consolidées. Une vingtaine d'ouvrages de ce type seraient suffisants pour constituer une capacité d'injection de 3 Mm³/mois.

La mise en place d'une telle stratégie implique :

- la construction des adductions entre les points de prélèvements (barrages et STEP) et les puits d'injection, qui représentera un investissement sensiblement plus important que le coût des puits d'injection ;
- une bonne maîtrise de la qualité des eaux à réinjecter : les aquifères karstiques sont caractérisés par des vitesses de circulation rapides, de quelques mètres à quelques centaines de mètres par jour et par une capacité d'autoépuration limitée ; pour préserver la qualité de cette ressource, il importe donc de n'injecter que des eaux de faible turbidité, (donc à partir d'un lac de barrage et pas d'une rivière) et dont la charge organique est limitée (les STEP doivent être dotées d'un traitement tertiaire).

Conclusion

Des épisodes de sécheresse prolongée, sur plus de 3 années successives, frappent l'Ouest de l'Algérie plusieurs fois par siècle et la majorité des modèles d'évolution climatique concluent que la probabilité de tels événements devrait augmenter d'ici la fin du siècle (Zeroual, et al., 2017). Les aquifères karstiques des Monts de Tlemcen constituent une réserve en eau stratégique bien adaptée pour y faire face.

Les ressources en eau peuvent y être stockées dans le sous-sol dans des conditions très économiques, à l'abri de l'évaporation et de l'eutrophisation, durant les années à pluviométrie excédentaire. Elles peuvent ensuite être remobilisées rapidement grâce à la très forte productivité des forages qui est une conséquence de l'intense karstification des calcaires et dolomies jurassiques.

Références

- ADE, 2019. Etat des forages, Tlemcen: ADE.
- Assaba, M., Laborde, J. & Rezak, S., 2013. Les effets d'une baisse de la pluviométrie sur les volumes regularisables des barrages d'Algérie. Revue scientifique et technique, Issue LJEE n°21 et 22. Spécial colloque CIREDD.
- Bedrani, S. e. A. S., 2011. Produire de l'eau par le dessalement ou en l'économisant grâce à l'adoption de l'irrigation localisée. Les cahiers du CREAD, Issue 96.
- Bensaoula, F., 2007. Etude de la karstification à partir des données de forages : le cas des monts de Tlemcen (Algérie). Karstologia, Issue 49, pp. 15-24.
- Bensaoula, F., Collignon, B. & Adjim, M., 2019 (sous presse). Assessment of groundwater resources in the Jurassic Horst (Western Algeria). In: Water Resources in Algeria. Tome 3, chap.17. s.l.:Handbook of Environmental Chemistry. Ed.Springer.
- Collignon, 2018. L'aquifère karstique, objet d'études mathématiques ou naturalistes. Karstologia, Issue 71, pp. 53-60.
- Collignon, B., 1985. Le forage hydraulique dans les roches très karstifiées. COTEFHYD. Alger, s.n.
- Collignon, B., 1986. Hydrogéologie appliquée des aquifères karstiques des Monts de Tlemcen (thèse de doctorat). Avignon: s.n.
- DRE, 2018. Situation de l'AEP de la wilaya de Tlemcen et programme d'urgence, Tlemcen: s.n.
- Gevin, P., 1952. Le projet de barrage sur l'oued Meffrouch -Eléments de technogéologie des barrages algériens, in "La géologie et les problèmes de l'eau en Algérie", XIXe Congrès géologique international -Tome 1. Paris, s.n.
- Ghenim, A. e. M., 2013. Analyse des précipitations dans le Nord-Ouest algérien. Sécheresse, Issue 24, pp. 107-114.
- Hubert & Meddi, 2003. Impact de la modification du régime pluviométrique sur les ressources en eau du nord-ouest de l'Algérie. IAHS Publ., Issue 278.
- Laborde, 1993. Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord au 1/500 000 - notice explicative - Projet PNUD/ALG/88/021. Alger: Agence nationale des ressources hydrauliques.
- Meddi & Meddi, 2007. Variabilité spatiale et temporelle des précipitations du Nord ouest de l'Algérie. Geographia Technica, Issue 2.
- Meddi, H. & Meddi, M., 2009. Variabilité des précipitations annuelles du Nord-Ouest de l'Algérie. Sécheresse, 20(1), pp. 57-65.
- Stevanovic, Z., 2015. Engineering regulation of karstic springflow to improve water resources in critical dry periods. In: Z. Stevanovic, ed. Karst aquifers - Characterization and Engineering. s.l.:Springer, pp. 490-522.
- Zeroual, A., Assani, A. & Meddi, M., 2017. Combined analysis of temperature and rainfall variability as they relate to climate indices in northern Algeria over the 1972-2013 period. Hydrology Research.